

W1271

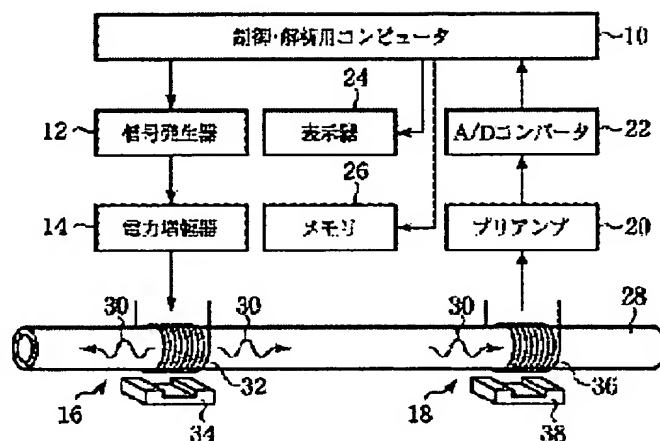
## PIPING INSPECTION DEVICE AND METHOD, AND PIPING INSPECTION SYSTEM

Patent number: JP2002236113  
Publication date: 2002-08-23  
Inventor: ITO SHINJI; NOMURA TORU; KAIDA SHINICHI; KANEKO HIROICHI  
Applicant: JAPAN ENERGY CORP.; CENTRAL COMPUTER SERVICES CO LTD  
Classification:  
- international: G01N29/10; G01N27/82; G01N29/04  
- european:  
Application number: JP20010030998 20010207  
Priority number(s):

## Abstract of JP2002236113

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a piping inspection device and method and a piping inspection system that can specify the position or the like of a defect in piping with high accuracy.

**SOLUTION:** Elastic wave 30 propagated in the piping 28 is sent out, and the elastic wave reflected from the piping is detected as an electric signal. Correlation between the detected signal and a prescribed reference signal is obtained, and the position of the defect in the piping is specified on the basis of the maximum value of the obtained correlation.



W127/

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-236113

(P2002-236113A)

(43) 公開日 平成14年8月23日 (2002.8.23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 1 N 29/10	5 0 1	G 0 1 N 29/10	2 G 0 4 7
27/82		27/82	2 G 0 5 3
29/04	5 0 4	29/04	5 0 4

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-30998(P2001-30998)

(22) 出願日 平成13年2月7日 (2001.2.7)

(71) 出願人 000231109

株式会社ジャパンエナジー

東京都港区虎ノ門二丁目10番1号

(71) 出願人 596072287

セントラル・コンピュータ・サービス株式  
会社

東京都江東区亀戸6-41-10

(72) 発明者 伊藤 慎司

東京都江東区亀戸六丁目41番10号 セント  
ラル・コンピュータ・サービス株式会社内

(74) 代理人 100087479

弁理士 北野 好人

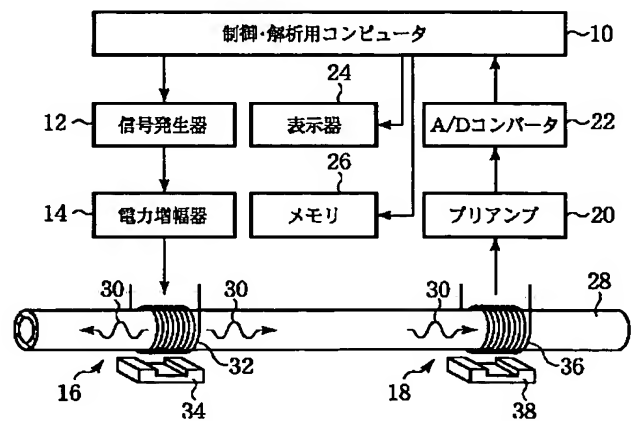
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 配管の検査装置及び方法並びに配管の検査システム

(57) 【要約】

【課題】 高精度に配管の欠陥の位置等を特定しうる配管の検査装置及び方法並びに配管の検査システムを提供する。

【解決手段】 配管28を伝搬する弾性波30を発信し、配管から反射された弾性波を電気的な信号として検出し、検出された検出信号と所定の参照信号との相関を求め、求められた相関の極大値に基づいて配管の欠陥の位置を特定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 配管を伝搬する弾性波を発信し、前記配管から反射された前記弾性波を電気的な信号として検出し、  
検出された検出信号と所定の参照信号との相関を求め、求められた相関の極大値に基づいて前記配管の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の配管の検査方法において、  
前記所定の参照信号は、前記配管が周方向にほぼ均一に不連続になっている部分から反射される波を用いて形成されていることを特徴とする配管の検査方法。

【請求項 3】 請求項 1 又は 2 記載の配管の検査方法において、  
前記配管の一の欠陥の位置を特定した後、前記検出信号から、前記一の欠陥に相当する部分の信号を除去し、前記一の欠陥に相当する部分の前記信号が除去された前記検出信号を用いて、前記配管の他の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査方法。

【請求項 4】 請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の配管の検査方法において、  
前記検出信号から、前記弾性波が前記配管を満たす液体を伝搬した後、前記配管に再入射して前記配管を伝搬し、前記配管の欠陥によって反射されることにより生ずる副次的な信号を除去し、  
前記副次的な信号が除去された前記検出信号を用いて、前記配管の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査方法。

【請求項 5】 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の配管の検査方法において、  
磁気歪効果により、前記弾性波の発信及び／又は検出を行うことを特徴とする配管の検査方法。

【請求項 6】 配管を伝搬する弾性波を発信し、前記配管から反射された前記弾性波を電気的な信号として検出し、  
検出された検出信号と所定の参照信号との相関を求め、求められた相関の極大値に基づいて前記配管の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査装置。

【請求項 7】 弾性体を伝搬する弾性波を発信し、前記弾性体から反射された前記弾性波を電気的な信号として検出し、  
検出された検出信号と所定の参照信号との相関を求め、求められた相関の極大値に基づいて前記弾性体の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査方法。

【請求項 8】 現場で配管の検査装置を用いて取得された検出信号を、前記検査装置と異なる解析用コンピュータに導入し、前記解析用コンピュータがデータベースに蓄積された所定の参照信号を用いて、前記配管の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、配管の検査装置及び方法並びに配管の検査システムに係り、特に、配管の欠陥の位置等を特定しうる配管の検査装置及び方法並びに配管の検査システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】化学プラントや都市ガス等の配管については、敷設後、メンテナンス等のために、欠陥の検査を行うことが必要である。

【0003】配管の欠陥の検査する技術として、磁気歪センサを用いた配管の検査方法が提案されている（特表平 11-502020 号公報、米国特許 5581037 号公報参照）。

【0004】提案されている配管の検査方法では、配管に機械的振動を発生させ、配管に取り付けられたセンサを用いて、配管を伝搬する弾性波を検出する。配管を伝搬する弾性波は、配管の欠陥により反射されるため、センサにより検出される弾性波には、配管の欠陥により反射された波も含まれている。従って、提案されている検査方法では、配管に機械的振動を発生させた際に生じる弾性波がセンサに到達する時間と、配管を伝搬する弾性波が欠陥によって反射されてセンサに到達する時間との時間差から、配管の欠陥の位置を特定することができる。

【0005】提案されている検査方法は、地中に埋設された配管や、保温材に覆われた配管等、露出していない配管を検査できるため、一般の検査装置に比べて有利である。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、提案されている検査方法では、配管に機械的振動を発生させた際に生じる弾性波がセンサに到達する時間と、配管を伝搬する弾性波が欠陥によって反射されてセンサに到達する時間との時間差から、単に配管の欠陥の位置を求めるものであるため、配管に加える機械的振動の波長より細かい精度で配管の欠陥の位置を特定することは困難であった。殊に、配管の欠陥を検査するためには、配管の長手方向に数 m 以上離れた位置まで弾性波を伝播させる必要があり、減衰の少ない、比較的低い周波数の機械的振動を配管に加える必要がある。周波数の低い振動は、波長が長い。提案されている検査方法では、配管に加える機械的振動の波長より細かい精度で配管の欠陥の位置を特定することが困難であるため、波長の長い機械的振動を加えざるを得ない配管の検査においては、高い精度で配管の欠陥の位置を特定することは困難であった。

【0007】また、提案されている検査方法では、配管の欠陥の位置と他の反射要因の位置とが近接している場合に、他の反射要因の影響を受けることなく、配管の欠陥の位置を特定することが困難であった。例えば、溶接線の近傍において配管に欠陥がある場合には、溶接線に

よって大きな反射波が生じるため、配管の欠陥の位置を特定することが困難であった。

【0008】また、欠陥によって弾性波が反射される際に、副次的な波が生じる場合がある。例えば、配管内に液体が満たされている場合には、配管に機械的振動を加えた際に、配管を満たす液体中に放出された波が、液体中を伝搬し、配管に再入射して配管を伝搬し、配管の欠陥によって反射されることによって、トレーリング波と呼ばれる波が発生する。このような副次的な波が発生した場合には、センサにより検出された信号が欠陥によるものであるのか、トレーリング波等によるものなのかを特定することが困難であり、配管の欠陥の位置を正確に特定することが困難であった。

【0009】本発明の目的は、高精度に配管の欠陥の位置等を特定しうる配管の検査装置及び方法並びに配管の検査システムを提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的は、配管を伝搬する弾性波を発信し、前記配管から反射された前記弾性波を電気的な信号として検出し、検出された検出信号と所定の参照信号との相関を求め、求められた相関の極大値に基づいて前記配管の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査方法により達成される。これにより、検出信号と参照信号との相関を求め、検出信号と参照信号との相関が極大となる位置から配管の欠陥の位置を特定するので、高精度に配管の欠陥の位置を特定することができる。

【0011】また、上記の配管の検査方法において、前記所定の参照信号は、前記配管が周方向にほぼ均一に不連続になっている部分から反射される波を用いて形成されていることが望ましい。

【0012】また、上記の配管の検査方法において、前記配管の一の欠陥の位置を特定した後、前記検出信号から、前記一の欠陥に相当する部分の信号を除去し、前記一の欠陥に相当する部分の前記信号が除去された前記検出信号を用いて、前記配管の他の欠陥の位置を特定することが望ましい。

【0013】また、上記の配管の検査方法において、前記検出信号から、前記弾性波が前記配管を満たす液体を伝搬した後、前記配管に再入射して前記配管を伝搬し、前記配管の欠陥によって反射されることにより生ずる副次的な信号を除去し、前記副次的な信号が除去された前記検出信号を用いて、前記配管の欠陥の位置を特定することが望ましい。

【0014】また、上記の配管の検査方法において、磁気歪効果により、前記弾性波の発信及び／又は検出を行うことが望ましい。

【0015】また、上記目的は、配管を伝搬する弾性波を発信し、前記配管から反射された前記弾性波を電気的な信号として検出し、検出された検出信号と所定の参照

信号との相関を求め、求められた相関の極大値に基づいて前記配管の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査装置により達成される。これにより、検出信号と参照信号との相関を求め、検出信号と参照信号との相関が極大となる位置から配管の欠陥の位置を特定するので、高精度に配管の欠陥の位置を特定することができる。

【0016】また、上記目的は、弾性体を伝搬する弾性波を発信し、前記弾性体から反射された前記弾性波を電気的な信号として検出し、検出された検出信号と所定の参照信号との相関を求め、求められた相関の極大値に基づいて前記弾性体の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査方法により達成される。これにより、検出信号と参照信号との相関を求め、検出信号と参照信号との相関が極大となる位置から配管の欠陥の位置を特定するので、高精度に弾性体の欠陥の位置を特定することができる。

【0017】また、上記目的は、現場で配管の検査装置を用いて取得された検出信号を、前記検査装置と異なる解析用コンピュータに導入し、前記解析用コンピュータがデータベースに蓄積された所定の参照信号を用いて、前記配管の欠陥の位置を特定することを特徴とする配管の検査システムにより達成される。これにより、データベースに蓄積された豊富なデータを活用して、高精度な解析を行うことができる。また、解析されたデータをデータベースに蓄積し、その後のデータ解析に役立てることができるので、解析精度を累積的に進歩させることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】〔第1実施形態〕本発明の第1実施形態による配管の検査装置及び方法を図1乃至図4を用いて説明する。図1は、本実施形態による配管の検査装置を示すブロック図である。なお、本実施形態では、配管の検査を行う場合を例に説明するが、本発明は、配管の検査を行う場合のみならず、弾性波を伝搬し得る被測定体であれば、あらゆる被測定体の検査に適用可能である。

【0019】（配管の検査装置）図1に示すように、本実施形態による配管の検査装置は、装置全体を制御するとともに、信号解析を行って配管の欠陥等を特定する制御・解析用コンピュータ10と、制御・解析用コンピュータ10からの命令によって信号を発生する信号発生器12と、信号発生器12から出力された信号を増幅する電力増幅器14と、電力増幅器14から出力される信号によって配管28に機械的振動を加える伝送素子16と、配管28を伝搬する弾性波30を検出する検出素子18と、検出素子18により検出された信号を増幅するプリアンプ20と、プリアンプ20から出力されるアナログ信号をデジタル信号に変換するA/Dコンバータ22と、検出信号や解析結果等を表示する表示器24と、

検出信号や参照信号等を記憶するメモリ 26 とを有している。

【0020】本実施形態による検査装置及び方法は、配管 28 に機械的振動を加え、配管 28 を伝搬する弾性波 30 を時系列的に検出し、検出された時系列的な信号について、後述する参照信号を用いて所定の信号処理を行うことにより、配管 28 の欠陥の位置を特定することに主な特徴がある。

【0021】(a) 信号発生器 12

信号発生器 12 は、制御・解析用コンピュータ 10 からの命令に基づいて、配管 28 に機械的振動を加えるための信号を発生するものである。

【0022】信号発生器 12 は、比較的低い周波数、例えば 10～200 kHz 程度、特には 30～100 kHz 程度の周波数の信号を発生する。このような低周波の信号を用いるのは、低周波信号は、高周波信号に比べて配管 28 での減衰が小さいからである。

【0023】信号発生器 12 から出力する信号の種類としては、例えば、ワンショットパルスを用いることができる。

【0024】(b) 電力増幅器 14

電力増幅器 14 は、信号発生器 12 から出力された信号を増幅するものである。

【0025】伝送素子 16 を介して配管 28 に所望の機械的振動を加えることができるよう、例えば高出力の電力増幅器 14 が用いられる。

【0026】(c) 伝送素子 16

伝送素子 16 は、電力増幅器 14 からの信号により、検査対象である配管 28 に機械的振動を加えるものである。

【0027】伝送素子 16 は、配管 28 に効率的に機械的振動を加えることができるよう、配管 28 の周囲に設けられる。

【0028】伝送素子 16 は、例えば、可変磁界を生成する伝送コイル 32 と、伝送コイル 32 の近傍に設けられ、配管 28 を静的に磁化するバイアス磁石 34 とにより構成することができる。

【0029】このような構成の伝送素子 16 は、磁気歪効果により配管 28 に機械的振動を加える。磁気歪効果により配管 28 に機械的振動を加えるので、長い波長の機械的振動を配管 28 に加える場合であっても、効率よく機械的振動を配管 28 に加えることができ、また高い S/N 比を得ることができる。

【0030】伝送素子 16 は、配管 28 の長手方向のうち、一方向にのみ、例えば図 1 の紙面左側の方向にのみ弾性波 30 を伝搬させる特性を有することが望ましい。一方向にのみ弾性波 30 を伝搬させる特性を有する伝送素子 16 を用いれば、信号処理の容易化を図ることができる。但し、そのような特性は、必ずしも必要なわけではなく、両方向に弾性波を伝送する伝送素子 16 を用い

てもよい。

【0031】(d) 配管 28

配管 28 は、検査対象となるものである。

【0032】配管 28 の材料としては、例えば、金属やプラスチック等が考えられる。

【0033】なお、検査対象となる配管 28 の材料は、金属やプラスチックに限定されるものではなく、弾性波 30 が伝搬し得る弾性体より成る配管 28 であれば、あらゆる材料より成る配管 28 を検査対象とすることができる。

【0034】本実施形態による検査装置は、磁気歪効果により配管 28 に機械的振動を印加するものであるため、強磁性体より成る配管 28 が検査対象となる場合に適している。

【0035】なお、本実施形態による検査装置は、検査対象となる配管 28 が強磁性体でない場合であっても、何ら問題なく、検査を行うことができる。例えば、伝送素子 16 や検出素子 18 が設けられる箇所において、配管 28 の周囲に強磁性体等より成るシート等を巻き付ければ、伝送素子 16 を介して配管 28 に機械的振動を加えることができ、また、配管 28 を伝搬する弾性波 30 を検出素子 18 を介して検出することができる。

【0036】配管 28 の直径は、例えば 10～50 cm 程度、特には 20～30 cm 程度が考えられる。なお、検査対象となる配管 28 の直径は、これらに限定されるものではない。

【0037】本実施形態による検査装置は、露出していない配管 28 を検査できる点で、一般的の検査装置に比べて優れている。即ち、一般の検査装置では、露出していない配管 28 を検査することは困難であるが、本実施形態による配管の検査装置では、例えば、埋設されている配管 28 や、保温材で覆われている配管 28 等を検査することが可能である。なお、本実施形態による検査装置は、露出していない配管のみならず、露出している配管も何ら問題なく検査することができる。

【0038】(e) 検出素子 18

検出素子 18 は、配管 28 を伝搬する弾性波 30 を電気信号として検出するものである。

【0039】検出素子 18 は、配管 28 の周囲に設けられ、弾性波によって配管 28 に生じる磁界の変化を検出する検出コイル 36 と、検出コイル 36 の近傍に設けられ、配管 28 を静的に磁化するバイアス磁石 38 とにより構成されている。本実施形態による配管の検査装置では、検出素子 18 が伝送素子 16 と近似した構成になっているので、配管を伝わる弾性波 30 を効率よく検出することができる。

【0040】なお、本実施形態では、伝送素子 16 と近似した構成の検出素子 18 を用いたが、検出素子 18 は必ずしも伝送素子 16 と近似した構成にする必要はなく、伝送素子 16 と異なる構成の検出素子 18 を用いて

もよい。

【0041】(f) プリアンプ

プリアンプ20は、検出素子18により検出された信号を増幅するものである。

【0042】検出素子18により検出される信号は微弱であるため、そのままでは信号処理に適さない。このため、プリアンプ20によって、信号が増幅される。

【0043】プリアンプ20により増幅された信号は、A/Dコンバータ22に出力される。

【0044】(g) A/Dコンバータ22

A/Dコンバータ22は、プリアンプ20から出力されるアナログ信号をデジタル信号に変換するものである。

【0045】A/Dコンバータ22のサンプリング周期は、信号発生器12から出力される信号の周期の例えば1/2以下、特には、1/10以下とすることができる。サンプリング周期を短くすることにより、より高精度な解析が可能となる。

【0046】A/Dコンバータ22の振幅分解能は、8bit以上、特には12bit以上とすることができる。振幅分解能を向上することにより、より高精度な解析が可能となる。

【0047】(h) メモリ26

メモリ26は、検出信号や参照信号等を記憶するものである。

【0048】メモリ26には、A/Dコンバータ22から出力された検出信号が時系列的に記憶される。即ち、A/Dコンバータ22から出力された信号は、制御・解析用コンピュータ10により順次読み取られ、読みとられた信号が順次メモリ26に書き込まれていく。

【0049】また、メモリ26には、検出信号を処理する際に用いられる参照信号が記憶される。参照信号は、弾性波が配管の欠陥によって反射される波と同様の信号である。参照信号を作成する際には、例えば、配管の端面で反射される波や、溶接線によって反射される波等、配管が周方向に均一に不連続になっている部分によって反射される波を検出し、こうして検出された波から参照信号を作成することができる。

【0050】なお、本実施形態のように伝送素子16と検出素子18とが近似した構成になっている場合には、信号発生器12から出力される信号と同様の信号を参照信号として用いることも可能である。

【0051】また、参照信号は1つに限定されるものではない。例えば、フランジによって反射される波を参照信号としてメモリに記憶しておけば、フランジによる反射波なのか、配管の欠陥による反射波なのかを、判別することが可能となる。このように多様な反射要素を考慮して多数の参照信号を作成し、これらの参照信号を適宜用いれば、何の反射要素による反射なのかを判別することが可能となり、配管の欠陥の誤認を防止することができる。

【0052】また、伝送素子16の特性、配管28における弾性波30の伝搬特性、検出素子18の特性等の様々なパラメータを考慮して、参照信号を作成してもよい。このようなパラメータを考慮して参照信号を作成すれば、解析精度をより向上することができる。

【0053】また、参照信号は、予めメモリ26に記憶しておいてもよいし、参照信号を記憶した記憶媒体を用いて、別途メモリ26に記憶するようにしてもよい。参照信号を記憶した記憶媒体を用いて別途メモリ26記憶できるように構成すれば、適宜改良される参照信号を用いて、解析精度の向上を図ることができる。

【0054】また、本実施形態による配管の検査装置を電話回線に接続し、参照信号を受信することにより、参照信号をメモリ26に記憶できるようにしてもよい。また、インターネットのホームページ等から参照信号をダウンロードできるようにしてもよい。

【0055】(i) 表示器24

表示器24は、検出信号や解析結果等を表示するものである。

【0056】また、表示器24は、本実施形態による検査装置の動作状態等を表示することもできる。

【0057】(j) 制御・解析用コンピュータ10

制御・解析用コンピュータ10は、装置全体を制御するとともに、検出信号を解析して配管28の欠陥等を特定するものである。

【0058】制御・解析用コンピュータ10には、装置全体を制御するためのプログラムや信号処理を行うためのプログラム等が導入されている。

【0059】このようなプログラムは、予め制御・解析用コンピュータ10に導入されていてもよいし、プログラムを記憶した記憶媒体等を用いて、別途導入できるようにしてもよい。プログラムを記憶した記憶媒体を用いて別途導入できるように構成すれば、プログラムをバージョンアップして、検査精度の向上や機能の改良を図ることができる。

【0060】また、本実施形態による配管の検査装置を電話回線に接続し、プログラムを受信することにより、プログラムをバージョンアップするようにしてもよい。また、インターネットのホームページ等からプログラムをダウンロードできるようにしてもよい。

【0061】制御・解析用コンピュータは、配管28に機械的振動を加える際には、信号発生器12に信号を発生すべき旨の命令を出力する。これにより、電力増幅器14、伝送素子16を介して配管28に機械的振動が加わる。配管28を伝搬した弾性波30は、検出素子18により電気信号として検出され、プリアンプ20で増幅され、A/Dコンバータ22でデジタル信号に変換されて、制御・解析用コンピュータ10により読みとられる。

【0062】また、制御・解析用コンピュータ10は、

A/Dコンバータ22から読み取った信号を時系列的にメモリ26に記憶していく。この際に、表示器24を用いて検出信号を表示するようにしてもよい。

【0063】また、制御・解析用コンピュータ10は、メモリ26に記憶した時系列の検出信号と参照信号とを用いて、所定の信号処理を行う。そして、処理された信号を解析することにより、配管28の欠陥の位置を特定する。

【0064】また、制御・解析用コンピュータ10は、表示器24を用いて解析結果等を表示する。

【0065】なお、制御・解析用コンピュータ10として、人工知能(AI、Artificial Intelligence)を有するコンピュータを用いてもよい。人工知能を有するコンピュータを用いれば、参照信号等を適宜改良することができ、解析精度を累積的に進歩させていくことができる。

【0066】このようにして、本実施形態による配管の検査装置が構成されている。

【0067】(配管の検査方法)次に、本実施形態による配管の検査方法を図1乃至図4を用いて説明する。図2は、時系列的に取得された検出信号の例を示すタイムチャートである。図3は、参照信号の例を示すタイムチャートである。図4は、信号処理された検出信号の例を示すタイムチャートである。

【0068】まず、配管28に機械的振動を加え、配管28の長手方向に弾性波30を伝搬させる。具体的には、まず、制御・解析用コンピュータ10から信号発生器12に、信号を発生すべき旨の命令が出力される。これにより、信号発生器12から例えばワンショットパルスの信号が出力される。信号発生器12から出力された信号は、電力増幅器14により増幅される。そして、伝送素子16を介して、配管28に機械的振動が加えられる。配管28に機械的振動が加えられると、配管28の長手方向に弾性波30が伝搬する。例えば、図1の紙面左側に向かって弾性波30が伝搬する。

【0069】なお、弾性波30を配管28の紙面左側方向にのみ伝搬させるのは必ずしも容易ではない。このため、弾性波30は、紙面右側方向にも一定程度は伝搬する。

【0070】配管28の紙面左側方向に伝搬する弾性波30は、配管28の欠陥等により反射され、紙面右側方向に向かって伝搬する。紙面右側に向かって伝搬する反射波は、検出素子18により電気信号として検出される。

【0071】検出素子30により検出された信号は、プリアンプ20により増幅され、A/Dコンバータ22によりデジタル信号に変換されて、制御・解析用コンピュータ10に読みとられる。

【0072】制御・解析用コンピュータ10により読みとられた検出信号は、順次メモリ26に記憶されてい

く。こうして、時系列的な検出信号がメモリ26に記憶される。なお、この際に、表示器24を用いて検出信号を表示することもできる。

【0073】図2は、時系列的に取得された検出信号の例を示すタイムチャートである。横軸は、実際には時間軸であるが、検出素子から配管の欠陥までの距離をわかりやすくするため、検出素子からの距離に換算した値が示されている。縦軸は、信号強度を示している。

【0074】図2の場合には、検出素子の直近に相当する部分にまず大きな信号が観測され、更に、検出素子からある程度離れた位置に信号 $S_1 \sim S_4$ が観測されている。

【0075】検出素子18の直近に相当する部分の大きな信号は、検出素子18から極めて近接した位置からの信号であり、伝送素子16を介して配管28に機械的振動を印加した際に、弾性波30が図1の紙面右方向に伝搬したことによるものと考えることができる。

【0076】一方、信号 $S_1 \sim S_4$ は、何らかの反射要素によって弾性波30が図1の紙面右方向に反射したことによるものであると考えることができる。

【0077】次に、図2に示すような時系列的に取得された検出信号に対して、参照信号に時間遅れをもたせて所定の信号処理を行う。所定の信号処理は、制御・解析用コンピュータ10により行われる。

【0078】具体的には、まず、一定時間分の検出信号と参照信号とを、メモリ26から読み出す。

【0079】図3は、参照信号の例を示すタイムチャートである。図3の横軸は、実際には時間軸であるが、図2の横軸との整合性を確保すべく、検出素子18からの距離に換算した値で示されている。縦軸は、信号強度を示している。なお、図3では、図2に対して波形が拡大して表されている。

【0080】次に、メモリ26から読み出された一定時間分の検出信号と参照信号との各時間毎の積を求め、それを足し合わせて相関を求める。

【0081】次に、前回読み出した検出信号より微小時間 $\Delta_i$ だけ遅い分の一定時間分の検出信号を、メモリ26から読み出す。即ち、前回読み出した検出信号が $t_n$ から $t_{n+1}$ までの検出信号であったとすると、今回メモリ26から読み出す検出信号は、 $t_n + \Delta_i$ から $t_{n+1} + \Delta_i$ までの検出信号となる。微小時間 $\Delta_i$ が短ければ短いほど、高精度に信号処理を行うことができる。この後、メモリ26から読み出された検出信号と参照信号との各時間毎の積を求め、それを足し合わせて、検出信号と参照信号との相関を求める。

【0082】この後も、同様にして、メモリ26から読み出す一定時間分の検出信号を、順次、微小時間 $\Delta_i$ ずつ遅らせていき、読み出された検出信号と参照信号とを用いて上記のように積和演算を行い、検出信号と参照信号との相関を順次求めていく。



【0083】この一連の処理である畳み込み演算は、検出信号と参照信号とをそれぞれフーリエ変換し、フーリエ変換されたこれらの信号の周波数空間での共役積を求め、求められた共役積を逆フーリエ変換することにより行われる。フーリエ変換の種類としては、例えば離散フーリエ変換や高速フーリエ変換等を用いることができる。このようにして畳み込み演算を行うと、検出信号と参照信号との相関が求められる。

【0084】波形処理に用いられる参照信号は、弾性波が欠陥によって反射される波と近似した波であるため、配管に欠陥が生じている位置に相当する部分では、検出信号と参照信号との相関が極大となる。

【0085】図4は、信号処理された検出信号の例を示すタイムチャートである。

【0086】図4に示すように、検出素子からある程度離れた位置に、極大値 $M_1 \sim M_4$ が観測されている。

【0087】次に、極大値 $M_1 \sim M_4$ が観測される位置を測定することにより、配管の欠陥の位置を特定する。図2に示す信号 $S_1 \sim S_4$ には、ある程度の幅があるため、信号 $S_1 \sim S_4$ から欠陥の位置を正確に特定することは必ずしも容易ではないが、極大値 $M_1 \sim M_4$ には信号 $S_1 \sim S_4$ のような幅はないため、配管の欠陥の位置を正確に特定することができる。

【0088】即ち、提案されている配管の検査方法では、検出信号に対して何ら信号処理を行うことなく配管の欠陥の位置を特定していたので、弾性波の波長より高い精度で配管の欠陥の位置を特定することは困難であった。これに対し、本実施形態では、検出信号と参照信号との相関を求め、検出信号と参照信号との相関が極大となる位置から配管の欠陥の位置を特定するので、高精度に配管の欠陥の位置を特定することができる。

【0089】なお、上記では、取得された時系列的な検出信号のすべてに対して、順次信号処理を行ったが、必ずしも取得された検出信号のすべてに対して信号処理を行わなくてもよい。例えば、信号 $S_1 \sim S_4$ が観測されている近傍の検出信号に対してのみ信号処理を行うようにすれば、信号処理を短時間で完了することができる。

【0090】(変形例(その1))次に、本実施形態による配管の検査装置及び方法の変形例(その1)を図5乃至図8を用いて説明する。図5乃至図8は、本変形例による配管の検査方法を示すタイムチャートである。

【0091】本変形例による配管の検査方法は、欠陥の位置が互いに近接している場合であっても、欠陥の位置を特定し得る点に主な特徴がある。

【0092】図5は、配管の欠陥の位置が互いに近接している場合の検出信号の例を示すタイムチャートである。図5では、何らかの反射要因によるものと考えられる信号 $S_1 \sim S_5$ が5箇所で見られる。しかも、信号 $S_1$ と信号 $S_2$ とが互いに近接している。

【0093】このように信号 $S_1$ と信号 $S_2$ が互いに近接

している場合には、配管の欠陥の位置を特定することが必ずしも容易ではない。そこで、本変形例では、以下のようにして配管の欠陥を特定する。

【0094】即ち、まず、検出信号と参照信号とを畳み込み演算することにより、検出信号と参照信号との相関を求めるところまでは、図1乃至図4に示す第1実施形態による配管の検査方法と同様である。このような信号処理を行うことにより、図6に示すような信号が得られる。図6は、図5の信号に対して信号処理を行った状態を示すタイムチャートである。

【0095】次に、極大値 $M_1$ が観測される位置を測定することにより、1つ目の欠陥の位置を特定する。こうして特定された1つ目の欠陥の位置は、メモリ26に記憶される。

【0096】次に、図5に示す信号処理された検出信号の波形から、信号 $S_1$ の波形を除去する。具体的には、信号 $S_1$ の波形から、参照信号の波形に一定の係数を乗算した波形を減算することにより、信号 $S_1$ の波形を除去する。

【0097】図7は、信号 $S_1$ を除去した状態を示すタイムチャートである。図7に示すように、信号 $S_1$ の波形が除去されている。

【0098】次に、図7に示した時系列の検出信号に対して、第1実施形態による配管の検査方法と同様にして信号処理を行う。このような信号処理を行うことにより、図8に示すような信号が得られる。図8は、図7の信号に対して信号処理を行った状態を示すタイムチャートである。

【0099】次に、極大値 $M_2$ が観測される位置を測定することにより、2つ目の欠陥の位置を特定する。1つ目の欠陥に相当する位置の波形が既に除去されているので、2つ目の欠陥の位置を容易に特定することができる。

【0100】この後も、同様にして、信号 $S_2 \sim S_4$ を順次削除し、所定の信号処理を行うことにより、極大値 $M_3 \sim M_5$ から欠陥の位置を順次特定していく。

【0101】このように、本変形例によれば、特定された欠陥に相当する部分の波形を除去しつつ、次の欠陥の位置を順次特定していくので、欠陥の位置が互いに近接している場合であっても、容易に欠陥の位置を特定することができる。

【0102】なお、ここでは、信号 $S_1 \sim S_4$ を順次除去したが、互いに近接している信号についてのみ除去するようにしてもよい。例えば、図5に示す検出信号では、2つ目以降の信号 $S_2 \sim S_5$ は互いに十分に離れているので、信号 $S_1$ についてのみ除去し、信号 $S_2 \sim S_5$ については除去することなく、第1実施形態による検査方法と同様にして配管の欠陥の位置を特定してもよい。

【0103】また、ここでは、信号 $S_1$ が配管の欠陥によって反射される波である場合を例に説明したが、例え



ば信号 $S_1$ が溶接線による反射波であることも考えられる。かかる場合には、信号 $S_1$ の波形から、参照信号の波形に一定の係数を乗算した波形を減算しても、信号 $S_1$ を除去することは必ずしも容易ではない。このような場合には、予めメモリ26に溶接線によって反射する波に近似した参照信号を記憶しておき、かかる参照信号を用いて信号 $S_1$ を除去することが可能である。

【0104】(変形例(その2))次に、本実施形態による配管の検査方法の変形例(その2)を図9乃至図10を用いて説明する。図8及び図9は、本変形例による配管の検査方法を示すタイムチャートである。

【0105】本変形例による配管の検査方法は、トレーリング波の影響を受けることなく、配管の欠陥の位置を特定することに主な特徴がある。ここで、トレーリング波とは、弾性波が配管内の液体を伝搬する際に生じる副次的な波のことである。弾性波が配管の欠陥によって反射される際に、トレーリング波が複数発生する場合があります、かかるトレーリング波が発生すると配管の欠陥の位置の特定が困難となる。本変形例では、以下のようにして、トレーリング波の影響を除去しつつ、配管の欠陥の位置を特定する。

【0106】まず、メモリ26から検出信号を読み出し、検出信号の絶対値を求める。

【0107】図9(a)は、検出信号の絶対値を示すタイムチャートである。図9(a)に示すように、検出素子18からある程度離れた位置に、信号 $S_1 \sim S_{14}$ が観測されている。また、信号 $S_1 \sim S_{14}$ 以外にも、微少な信号が現れている。

【0108】次に、メモリ26から参照信号を読み出される。

【0109】次に、制御・解析用コンピュータ10により、トレーリング波を求めるシミュレーションが行われる。シミュレーションは、配管の径や、配管の長さ方向における弾性波の伝搬速度、液体中を伝搬する弾性波の速度等を考慮して行われる。

【0110】図9(b)は、シミュレーションにより求められたトレーリング波を示すタイムチャートである。分かりやすくするため、参照信号Rとトレーリング波 $T_1 \sim T_6$ とは、グラフの負側に表されている。

【0111】次に、検出信号から、トレーリング波を除去する。例えば図10(b)の場合には、シミュレーションにより求められたトレーリング波 $T_1 \sim T_6$ と同様の位置に現れている信号 $S_2$ 、 $S_4$ 、 $S_5$ 、 $S_7$ 、 $S_9$ 、及び $S_{12}$ を順次除去する。

【0112】このようにして検出信号からトレーリング波を除去すると、図10(a)に示すような信号が得られる。図10(a)は、検出信号からトレーリング波を除去した状態を示すタイムチャートである。

【0113】更に、図10(a)に示す信号から、参照信号Rとシミュレーションにより求められたトレーリン

グ波 $T_1 \sim T_6$ とを除去すると、図10(b)に示すような信号が得られる。

【0114】次に、第1実施形態による配管の検査方法と同様にして、検出信号と参照信号との相関を求め、相関が極大となる位置を測定することにより、配管の欠陥の位置を特定する(図示せず)。

【0115】このように本実施形態によれば、検出信号からトレーリング波を除去することができるので、トレーリング波の影響を受けることなく、正確に配管の欠陥の位置を特定することができる。

【0116】[第2実施形態]本発明の第2実施形態による配管の検査システムを図11を用いて説明する。図11は、本実施形態による配管の検査システムを示す概略図である。図1乃至図10に示す第1実施形態による配管の検査装置及び方法と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

【0117】本実施形態による配管の検査システムは、配管の検査装置を用いて取得された時系列の検出信号を、現場で解析せずに、別個に設けられたデータベースを用いて解析することに主な特徴がある。

【0118】現場A～Cでは、それぞれ、配管の検査装置40によって、第1実施形態と同様にして時系列の検出信号が取得される。配管の検査装置40としては、例えば、第1実施形態に示す配管の検査装置と同様の検査装置を用いることができる。

【0119】そして、取得された時系列の検出信号より成るデータは、例えば電話回線42を介して、データを解析する解析業者44に送信される。

【0120】なお、配管の検査装置40は、電話回線42により解析業者44の解析コンピュータ45と必ずしも常時接続されている必要はない。例えば、データを送信する場合にのみ、電話回線42を介して接続すればよい。

【0121】また、現場A～Cで取得された検出信号は、必ずしもすべて解析業者44に送信しなくてもよい。即ち、信号解析が容易な場合には、現場で解析を行い、解析が困難な場合にのみ、解析業者44に解析を依頼するようにしてもよい。

【0122】解析業者44は、解析用コンピュータ45とデータベース46とを保有している。このデータベース46には、過去に取得された検出信号等のデータが豊富に蓄積されている。データベース46には、例えば、配管の種類毎に分類された反射波のデータ、欠陥の大きさ毎に分類された反射波のデータ、反射要因の種類毎に分類された反射波のデータ等が蓄積されている。

【0123】検出信号の解析は、解析コンピュータ45により行われる。解析コンピュータ45は、データベース46に蓄積された多様な参照信号の中から、適切な参照信号を選択して、第1実施形態と同様にして信号処理を行い、配管の欠陥の位置を特定する。

【0124】なお、ここでは、第1実施形態と同様にして信号処理を行う場合を例に説明したが、例えば、ニューラル・ネットワーク（Neural Network）を用いて信号処理を行ってもよい。ニューラル・ネットワークを用いれば、解析精度を累積的に進歩させることができ、より高精度な解析が可能となる。

【0125】データ解析が終了すると、解析された結果が依頼者に送信される。

【0126】解析されたデータは依頼者に送信するのみならず、データベース46にも蓄積される。データベース46に蓄積されたデータは、その後の解析に適宜役立てられる。本実施形態によれば、解析されたデータをデータベース46に蓄積し、その後のデータ解析に役立てることができるので、解析技術を累積的に進歩させることができ、究極的には極めて高精度な解析ができるようになる。

【0127】このように本実施形態によれば、現場で取得された時系列の検出信号を、解析業者に送信し、解析業者の保有するデータベースを用いて解析するので、データベースに蓄積された豊富なデータを活用して、高精度な解析を行うことができる。

【0128】また、本実施形態によれば、解析されたデータをデータベースに蓄積し、その後のデータ解析に役立てることができるので、解析精度を累積的に進歩させることができる。

【0129】〔変形実施形態〕本発明は上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

【0130】例えば、第1実施形態では、磁気歪効果を用いて配管を振動させる伝送素子を例に説明したが、伝送素子は、磁気歪効果を用いるものに限定されるものではなく、例えば圧電効果を用いる伝送素子を用いてもよい。即ち、配管に振動を加えることができる伝送素子であれば、いかなる伝送素子を用いてもよい。

【0131】また、第1実施形態では、弾性波によって配管に生じる磁化の変化を磁気歪効果を用いて検出する検出素子を用いたが、検出素子は、磁気歪効果を用いて配管に生じる磁化の変化を検出するものに限定されるものではなく、例えば、ホール効果を用いて配管に生じる磁化の変化を検出して弾性波を検出する検出素子を用いてもよい。即ち、配管を通る弾性波を検出する検出素子であれば、いかなる検出素子を用いてもよい。

【0132】また、第1実施形態では、伝送素子と検出素子とを別個に設けたが、伝送素子と検出素子とを必ずしも別個に設けることなく、伝送機能と検出機能とを有する一体型の素子を用いてもよい。

【0133】また、第1実施形態では、信号発生器から出力する信号としてワンショットパルスを用いたが、信号発生器から出力する信号の種類はワンショットパルスに限定されるものではなく、例えば、図11に示すようなチャープ波を用いることもできる。

【0134】また、第2実施形態では、解析業者44にデータ解析を依頼する場合を例に説明したが、自社内にデータ解析部署が存在する場合は、そのデータ解析部署にデータ解析を行わせてもよい。また、自社内にデータ解析部署が設けられていない場合には、例えば自己の部署内で解析を行ってもよい。

【0135】また、第2実施形態では、電話回線を用いてデータの受け渡しを行ったが、データの受け渡しは必ずしも電話回線を用いる必要はなく、例えばデータを記憶した記憶媒体を郵送することによりデータを受け渡してもよい。

【0136】また、第2実施形態では、現場A～Cで取得された検出信号を解析する場合を例に説明したが、現場A～Cに限定されるものではなく、多様な現場で取得されたデータを解析することができる。

【0137】また、上記実施形態では、配管の検査を行う場合を例に説明したが、検査対象は配管に限定されるものではなく、あらゆる弾性体を検査対象とすることができる。例えば、板、タンク、石、更に具体的には、大理石等の欠陥を検出することもできる。

【0138】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、検出信号と参照信号との相関を求め、検出信号と参照信号との相関が極大となる位置から配管の欠陥の位置を特定するので、高精度に配管の欠陥の位置を特定することができる。

【0139】また、本発明によれば、特定された欠陥に相当する部分の波形を除去しつつ、次の欠陥の位置を順次特定していくので、欠陥の位置が互いに近接している場合であっても、容易に欠陥の位置を特定することができる。

【0140】また、本発明によれば、溶接線等による反射波を除去することができるので、溶接線等と欠陥の位置とが互いに近接している場合であっても、容易に欠陥の位置を特定することができる。

【0141】また、本発明によれば、検出信号からトレーリング波を除去することができるので、トレーリング波の影響を受けることなく、正確に配管の欠陥の位置を特定することができる。

【0142】また、本発明によれば、現場で取得された時系列の検出信号を、解析業者に送信し、解析業者の保有するデータベースを用いて解析するので、データベースに蓄積された豊富なデータを活用して、高精度な解析を行うことができる。

【0143】また、本発明によれば、解析されたデータをデータベースに蓄積し、その後のデータ解析に役立てることができるので、解析精度を累積的に進歩させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態による配管の検査装置を

示すブロック図である。

【図2】時系列的に取得された検出信号の例を示すタイムチャートである。

【図3】参照信号の例を示すタイムチャートである。

【図4】信号処理された検出信号の例を示すタイムチャートである。

【図5】本発明の第1実施形態の変形例（その1）による配管の検査方法を示すタイムチャート（その1）である。

【図6】本発明の第1実施形態の変形例（その1）による配管の検査方法を示すタイムチャート（その2）である。

【図7】本発明の第1実施形態の変形例（その1）による配管の検査方法を示すタイムチャート（その3）である。

【図8】本発明の第1実施形態の変形例（その1）による配管の検査方法を示すタイムチャート（その4）である。

【図9】本発明の第1実施形態の変形例（その2）による配管の検査方法を示すタイムチャート（その1）である。

【図10】本発明の第1実施形態の変形例（その2）による配管の検査方法を示すタイムチャート（その2）である。

【図11】本発明の第2実施形態による配管の検査システムを示す概略図である。

【図12】チャープ波を示すタイムチャートである。

【符号の説明】

10…制御・解析用コンピュータ

12…信号発生器

14…電力増幅器

16…伝送素子

18…検出素子

20…プリアンプ

22…A/Dコンバータ

24…表示器

26…メモリ

28…配管

30…弾性波

32…伝送コイル

34…バイアス磁石

36…検出コイル

38…バイアス磁石

40…検査装置

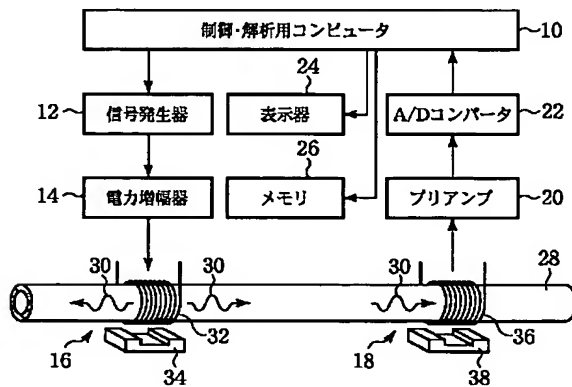
42…電話回線

44…解析業者

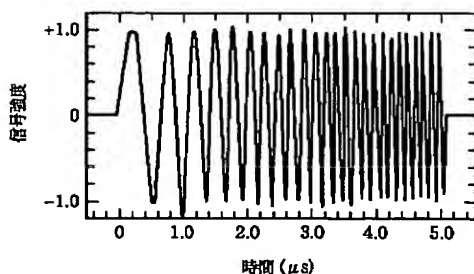
45…解析用コンピュータ

46…データベース

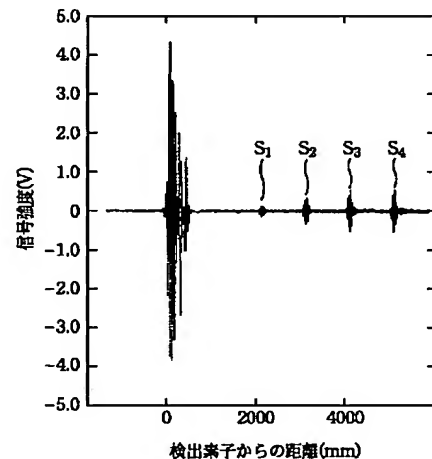
【図1】



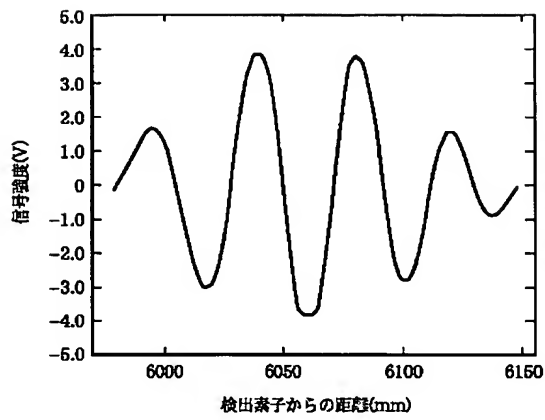
【図12】



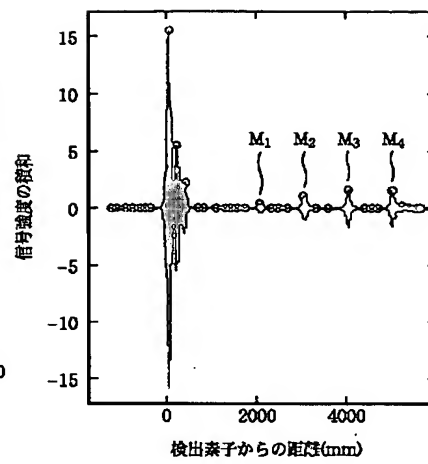
【図2】



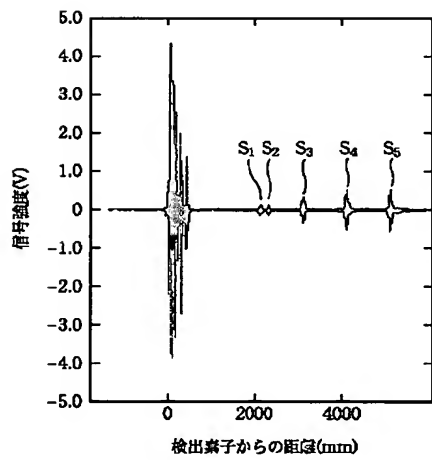
【図3】



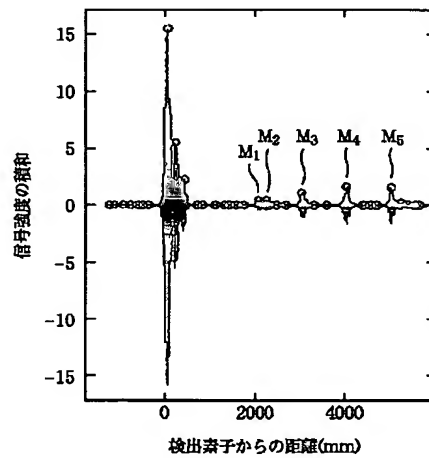
【図4】



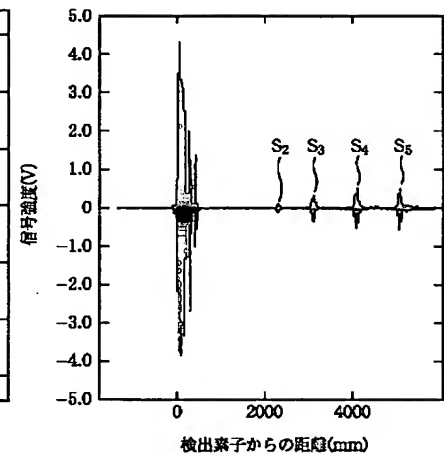
【図5】



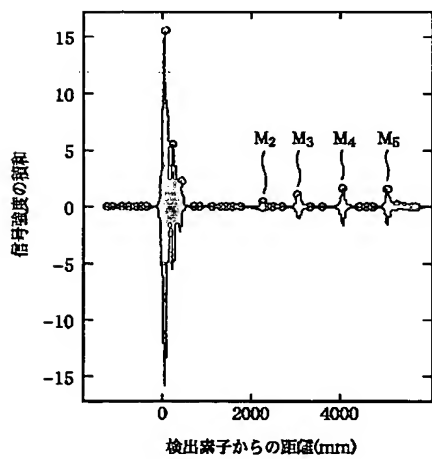
【図6】



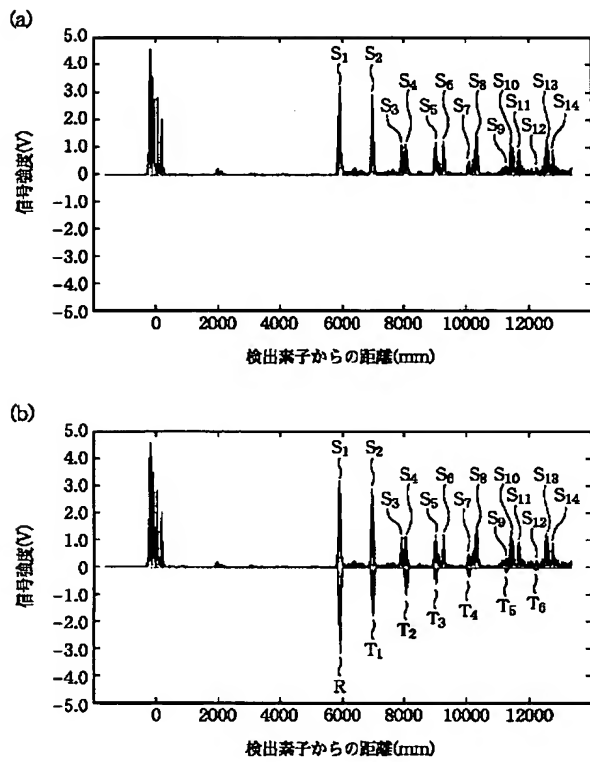
【図7】



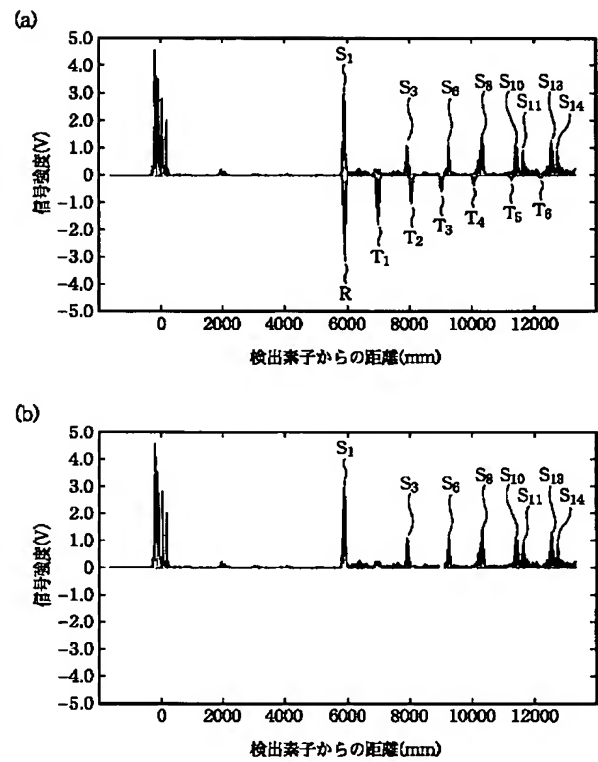
【図8】



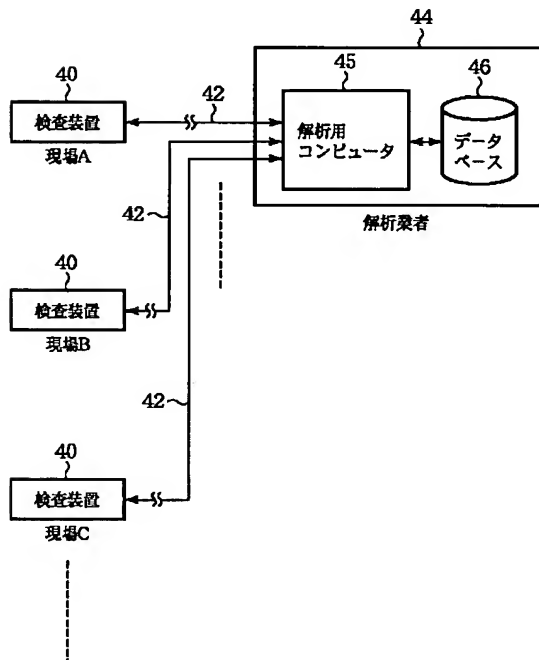
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 野村 徹  
東京都港区虎ノ門二丁目10番1号 株式会  
社ジャパンエナジー内  
(72)発明者 海田 進一  
東京都港区虎ノ門二丁目10番1号 株式会  
社ジャパンエナジー内

(72)発明者 金子 博一  
岡山県倉敷市潮通二丁目1番地 株式会社  
ジャパンエナジー水島製油所内  
Fターム(参考) 2G047 AB01 BC10 CA02 GA19 GG09  
GG12 GG19 GG24 GG36  
2G053 AA11 AB09 AB11 BA12 BA26  
CA03 CB17 DA02